

2010 年第 1 期
(总第 67 期)

漳州师范学院学报(自然科学版)
Journal of Zhangzhou Normal University (Nat. Sci.)

No. 1, 2010 年
General No. 67

文章编号:1008-7826(2010)01-0070-04

GaAs 太阳能电池减反射膜的设计

黄生荣^{1,2}

(1. 厦门大学 物理系, 福建 厦门 361005; 2. 厦门三安电子有限公司, 福建 厦门 361005)

摘 要: 利用实际测量的光谱响应结果来对 GaAs 单结太阳能电池减反射膜进行设计优化. 先初步设计单结 GaAs 太阳能电池 SiN 减反射膜厚度, 然后太阳能电池片样品进行光谱响应测量. 利用实际测量的光谱响应结果推算电池样品在 AM1.5 条件下的无反射时光谱响应, 根据计算的结果来对 GaAs 单结太阳能电池减反射膜厚度进行设计优化. 优化结果表明 83nm 为 GaAs 单结太阳能电池单层减反射膜厚度的最优值.

关键词: GaAs; 太阳能电池; 减反射膜; 光谱响应

中图分类号: O472⁺.8

文献标识码: A

Design of Anti-reflection Coating for GaAs Solar Cells

HUANG Sheng-rong^{1,2}

(1.Department of Physics, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China; 2.Xiamen San'an Electronics Co. Ltd, Xiamen, Fujian 361005, China)

Abstract: According to the measurement results of spectral response, the anti-reflection coating for GaAs single-junction solar cells is designed. Firstly, the anti-reflection coating of SiN was fabricated but the thickness of anti-reflection coating was not optimized. Then the spectral response of the solar cell sample was measured. The no-reflection spectral response of AM 1.5 condition was calculated using the measurement results of spectral response. According to the calculation results, the optimized thickness of anti-reflection coating was designed. The optimized thickness of anti-reflection coating for GaAs single-junction solar cells is 83nm.

Key words: GaAs; Solar Cell; anti-reflection; spectral response

1 引言

传统的燃料能源正在一天天减少, 对环境造成的危害日益突出, 全世界都把目光投向了可再生能源, 希望可再生能源能够改变人类的能源结构, 维持长远的可持续发展. 在这之中太阳能以其独有的优势而成为人们重视的焦点. 丰富的太阳辐射能是重要的能源, 是取之不尽、用之不竭的、无污染、廉价、人类能够自由利用的能源, 而其中太阳能发电是目前利用太阳能的热点研究领域. 太阳电池是把光能转换为电能的光电子器件. 相对于硅太阳电池, GaAs 太阳电池具有更高的光电转换效率、更强的抗辐射能力、更好的耐高温性能, 是国际公认的新一代高性能长寿命空间主电源和极具潜力的民间新能源. 为了减少 GaAs 太阳电池表面反射损失以提高太阳电池的转换效率, 在太阳电池表面窗口层上制备减反射膜是经常采用的方法. 国内外有许多研究机构对太阳电池单层、双层甚至三层减反射膜进行了理论计算和实际的设计应用, 明显的提高了太阳电池的转换效率^[1-6]. 本文利用实际测量的相对光谱响应结果来对 GaAs 单结太阳电池减反射膜进行设计优化, 用于指导实际的太阳电池制备工艺.

虽然单层减反射膜很难实现宽谱域上理想的减反射效果, 但是相对双层甚至更多层减反射膜的设计和制备工艺来说, 单层减反射膜设计简单、制备工艺稳定; 而且通过实际测量单结 GaAs 太阳电池的相对光

收稿日期: 2009-05-20

作者简介: 黄生荣(1978-), 男, 江西省上高县人, 博士后, 高级工程师.

谱响应,发现单结 GaAs 太阳电池光谱响应的光谱较窄,优化设计单层减反射膜基本可以满足需要.本文通过实际测量的光谱响应从而来对单结太阳电池单层减反射膜进行设计优化,这种方法同样可以适用于太阳电池多层减反射膜的设计优化.

2 样品相对光谱响应测量

单结 GaAs 太阳电池窗口层采用的是 GaInP 材料,选用 SiN 作为减反射膜的材料, SiN 材料折射率在 2 左右,其折射率和 GaInP 材料折射率平方根接近,致密性好. GaAs 材料禁带宽度约 1.43eV,我们先初步设计 SiN 减反射膜厚度 90nm,通过 PECVD 沉积,实际测量约 92nm. 光谱响应测量光源选用 250W 溴钨灯,利用 ARC 公司光栅单色仪进行分光.图 1 为实际测量样品的光谱响应曲线,纵座标的高度表示不同波长的光在同样光谱辐照度下电流响应的相对大小.从图中可以看出 600nm~860nm 的波段电流相对响应较大.考虑到地面实际应用的情况,目前地面一般采用的测量标准是在 AM1.5 的情况下进行测量,根据实际测量的光谱响应我们取 AM1.5 条件下 350nm~1000nm 波段范围内光谱辐照度分布如图 2 所示^[7].

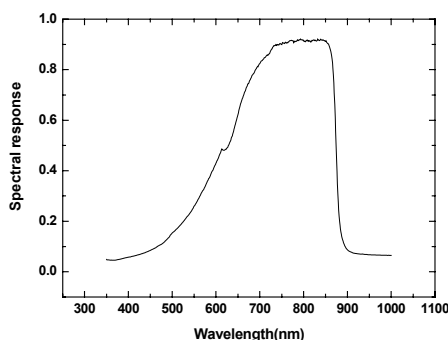


图 1 样品实际测量光谱响应

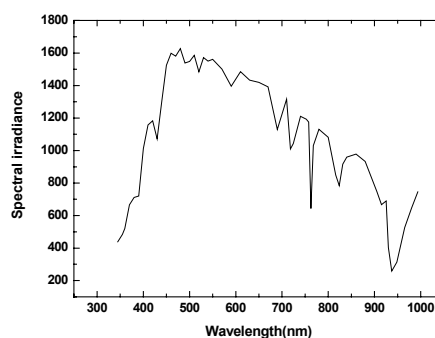


图 2 AM1.5 光谱辐照度分布 (350nm~1000nm)

把实际测量的相对光谱响应和 AM1.5 条件下不同波长光谱辐照度分布相乘,即可以得到电池样品在 AM1.5 条件下的响应如图 3 所示,谱峰的高低反映 AM1.5 情况下电池在某一波长响应电流相对值的大小,从图中可见 560nm~870nm 之间的电流响应较大.

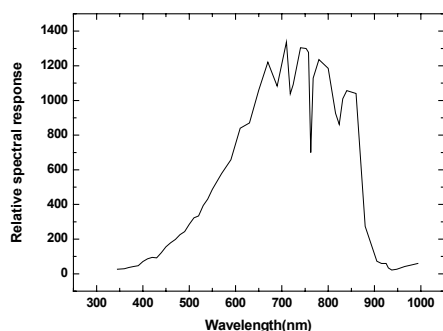


图 3 样品 AM1.5 下响应

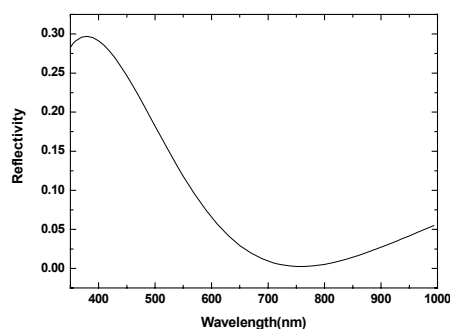


图 4 样品减反射膜反射率随波长变化的情况

3 减反射膜优化设计

考虑到实际测试的样品已经制备上了减反射膜,进行优化设计时首先要先去这一部分因素对光谱响应的影响,即希望得到完全无反射时样品的光谱响应.单层减反射膜的反射率为^[8]:

$$R = \frac{R_1^2 + R_2^2 + 2R_1R_2 \cos \Delta}{1 + R_1^2 + R_2^2 + 2R_1R_2 \cos \Delta} \quad (1)$$

式中: R_1 、 R_2 分别为外界介质——膜和膜——电池窗口上的菲涅尔反射系数; Δ 为膜层厚度引起的位相角. 其中:

$$R_1 = \frac{n_0 - n}{n_0 + n}, \quad R_2 = \frac{n - n_{si}}{n + n_{si}}, \quad \Delta = 4\pi nd / \lambda_0 \quad (2)$$

n_0 为空气折射率; n 为 SiN 折射率; n_{si} 为 GaInP 折射率; d 为减反射膜厚度; λ_0 为波长. 代入实际数值可以得到测量样品减反射膜反射率随波长变化的情况如图 4 所示, 从 600nm~900nm 波段之间反射率很小.

由反射率和测量所得光谱响应曲线可以计算得到样品无反射时光谱响应曲线如图 5 所示, 从图中可以看出 550nm~870nm 波段之间电流响应较大, 结合前面计算的单层减反射膜反射率随波长变化的情况, 优化设计单层减反射膜基本可以满足需要, 而不一定需要制备双层甚至三层的减反射膜.

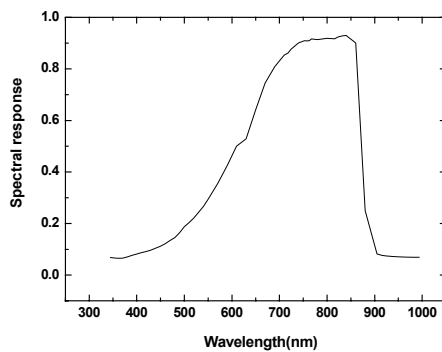


图 5 样品无反射时光谱响应

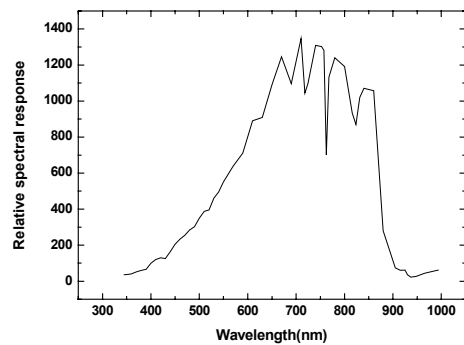


图 6 样品 AM1.5 下无反射时响应

同样把无反射时光谱相对响应和 AM1.5 条件下不同波长光谱辐照度分布相乘, 即可以得到电池样品在 AM1.5 条件下的无反射时的响应如图 6 所示, 从图中可见 550nm~870nm 波段之间的电流响应较大.

考虑到实际 AM1.5 条件下太阳光谱分布、减反射膜反射率和相对光谱响应, 则总的各波长电流响应可以表示为:

$$I = \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} Q(\lambda)[1 - R(\lambda)]S(\lambda)d\lambda \quad (3)$$

$Q(\lambda)$ 为 AM1.5 不同波长光谱辐照度, $R(\lambda)$ 为太阳电池对不同波长反射率, $S(\lambda)$ 为太阳电池无反射时光谱响应, λ_1, λ_2 为太阳电池吸收光谱的上、下限, 本文中对于单结 GaAs 电池取 $\lambda_1 = 350\text{nm}$, $\lambda_2 = 900\text{nm}$.

减反射膜厚度主要影响短路电流的变化而对开路电压的影响忽略不计, 最佳的减反射膜厚度必须使得相对电流响应最大, 即优化的减反射膜必须使得总的相对电流响应 I 值最大. 显然 AM1.5 不同波长光谱辐照度 $Q(\lambda)$ 和无反射时相对光谱响应 $S(\lambda)$ 在各个波长是确定值, 式中的变量是反射率 $R(\lambda)$, 而反射率 $R(\lambda)$ 的变化是通过调节减反射膜的厚度来实现的. 考虑到实际制备的工艺条件, 计算时厚度变化的间隔

为 1nm, 结合图 4 样品减反射膜厚度为 92nm 时反射率随波长变化的情况和图 6 样品 AM1.5 下无反射时光谱相对响应的情况, 取变化的区间为 70nm~100nm.

图 7 为减反射膜在 70nm~100nm 范围变化时, I 相对值的情况, 可得减反射膜厚度为 83nm 时, I 值最大, 即 83nm 为 GaAs 单结太阳电池单层减反射膜厚度的最佳值. 通过优化制备的单结 GaAs 太阳电池 AM1.5 条件下光电转换效率约为 20.8%.

4 讨论和结论

本文首先初步设计单结 GaAs 太阳电池 SiN 减反射膜厚度, 制备出太阳电池片. 然后对太阳电池片样品进行相对光谱响应测量. 利用实际测量的相对光谱响应结果推算电池样品在 AM1.5 条件下的相对光谱响应, 进而推算电池样品在 AM1.5 条件下的无反射时相对光谱响应, 根据计算的结果来对 GaAs 单结太阳电池减反射膜厚度进行设计优化. 优化结果表明, 当减反射膜厚度为 83nm 时, AM1.5 条件下总的相对电流响应最大, 即 83nm 为 GaAs 单结太阳电池单层减反射膜厚度的最优值.

当然首先在计算过程中我们没有考虑减反射厚度条件变化对太阳电池开路电压的影响; 其次没有考虑太阳电池窗口层材料和减反射膜材料折射率的色散效应; 再次进行理论优化设计时只考虑太阳光垂直入射的情况, 因此, 我们的优化设计结果和设计最优化值之间存在一定的误差, 在实际制备工艺时应该考虑在理论设计最优化厚度值附近进行调整, 从而找到最佳的实际厚度值. 本文通过实际测量相对光谱响应来对单结太阳电池单层减反射膜进行设计优化, 这种方法同样可以适用于太阳电池多层减反射膜的设计优化.

参考文献:

- [1] 杨文华, 吴鼎祥, 李红波. 空间高效硅太阳电池减反射膜设计与数值分析[J]. 半导体学报, 2004, 25(9): 1118.
- [2] 袁海荣, 向贤碧, 常秀兰, 等. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ 太阳电池 MgF_2/ZnS 双层减反射膜的研究[J]. 太阳能学报, 2000, 21(4): 371.
- [3] 王永东, 崔荣强, 徐秀琴. 太阳电池减反射膜系统的研究[J]. 太阳能学报, 2001, 22(3): 317.
- [4] Bouhafs D, Moussi A, Chikouche A, et al. Design and simulation of anti-reflection coating systems for optoelectronic devices: application to silicon solar cells[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1998, 52(1-2): 79.
- [5] Lee S E, Chio S W, Yi J. Double-layer anti-reflection coating using MgF_2 and CeO_2 films on a crystalline silicon substrate[J]. Thin Solid Films, 2000, 376(1-2): 208.
- [6] Cid M, Stem N, Brunetti C, et al. Improvements in anti-reflection coatings for high efficiency silicon solar cells[J]. Surface and Coatings Technology, 1998, 106(2-3): 117.
- [7] 地面用太阳电池标定的一般规定. 中华人民共和国国家标准, 1987, GB 6497—86.
- [8] Heavens O S. Optical proper of thin solid films[M]. London, 1965.

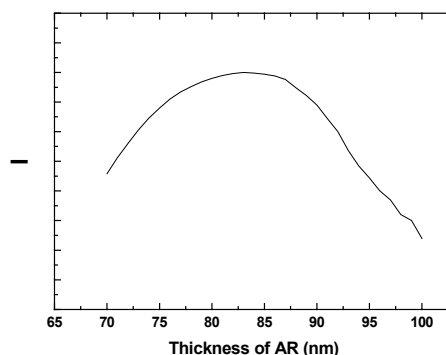


图 7 I 相对值随 AR 厚度变化

[责任编辑: 喻玉萍]